

Specifikace vlastností systému pro vytváření 3D modelů prostoru

Specification of System Properties for Create a 3D Models of Space

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Kajánek**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612R059 Mobilní technologie

Téma: Specifikace vlastností systému pro vytváření 3D modelů prostoru
Specification of System Properties for Create a 3D Models of Space

Zásady pro vypracování:

1. Popište způsoby rekonstrukce 3D scény z 2D dat.
2. Navrhněte experimentální pracoviště pro vytváření 3D modelů prostoru.
3. Navržená řešení otestujte.

Pro vypracování závěrečné práce bude použit typografický systém LaTeX.

Seznam doporučené odborné literatury:

N. Nikolaidis, Ioannis Pitas. *3-D Image Processing Algorithms*. Wiley-Interscience. 2008. ISBN 978-0471377368.


Oetiker, T., a kol. *Ne příliš stručný úvod do systému LaTeX 2e*.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Bureš**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

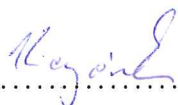

prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave 2. mája 2013

.....


Na tomto mieste by som rád poďakoval svojmu vedúcemu bakalárskej práce Ing. Miroslavovi Burešovi za jeho rady, odbornú pomoc a konzultácie, ktoré mi poskytol pri tvorbe tejto práce.

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá metódami a spôsobmi 3D zobrazenia. Najskôr sú podané základné informácie o vnímaní 3D obrazu človekom, ako funguje prirodzené a umelé stereoskopické videnie. V ďalšej časti sa venujem rôznym spôsobom 3D zobrazenia, ich výhodám a nevýhodám. Hlavná pozornosť je venovaná triangulačnej metóde a 3D skenerom. Vysvetlené sú pojmy ako CCD snímač, laser a skenery potrebné pre trianguláciu, ich rozdelenie a využitie. Posledná časť je venovaná praktickému testovaniu triangulačnej metódy. Je tu popísaný spôsob zkonštruovania i testovania 3D skenera.

Kľúčové slová: triangulačná metóda, stereovidenie, 3D skener, laser, stereoskopický

Abstract

This thesis discusses the methods and ways of displaying 3D. First, they are given basic information about the human perception of 3D images, how the natural and artificial stereoscopic vision works. The next part deals with 3D display in various ways, their advantages and disadvantages. Main attention is paid to triangulation method and 3D scanners. Explained the concepts of CCD, laser and scanners required for triangulation, their distribution and use. The last part is devoted to practical testing triangulation method. I describe here making and testing a 3D scanner.

Keywords: triangulation, stereovision, 3D scanner, laser, stereoscopic

Zoznam použitých skratiek a symbolov

1D	– One dimensional
2D	– Two dimensional
3D	– Three dimensional
CAD	– Computer Aided Design
CCD	– Charge coupled device
Hz	– Hertz
LASER	– Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LED	– Light Emitting Diodes
ms	– Millisecond
nm	– Nanometer
USB	– Universal Serial Bus
V	– Volt

Obsah

1	Úvod	4
2	Stereoskopické videnie	5
2.1	Prírodné stereoskopické videnie	5
2.2	Umelé stereoskopické videnie	5
3	Spôsoby 3D zobrazovania	7
3.1	Stereoskopy	7
3.2	Anaglyf	8
3.3	Anachrome	8
3.4	Chromadepth	8
3.5	Polarizovaná projekcia	9
3.6	Pulfrichov efekt	10
4	Triangulačná metóda	12
4.1	Aktívna triangulácia	12
4.2	Pasívna triangulácia	13
4.3	Merací systém s teodolitom	14
4.4	Fokusovacie techniky	14
4.5	Technika podoba z tieňovania	15
4.6	Nedostatky triangulácie	15
5	Prostriedky rekonštrukcie	16
5.1	CCD snímač	16
5.2	Laser	16
5.3	Skenery	17
5.3.1	Dotykové skenery	17
5.3.2	Bezdotykové skenery	17
5.3.3	Mechanické skenery	17
5.3.4	Optické skenery	17
5.3.5	Laserové skenery	18
5.3.6	Deštruktívne skenery	18
5.3.7	Ultrazvukové skenery	18
5.3.8	Röntgenové skenery	19
5.3.9	Využitie 3D skenerov	19
6	Zhotovenie 3D skenera	21
6.1	Potrebné vybavenie	21
6.2	Postup zhotovenia pracoviska	23
6.3	Proces skenovania	24
6.4	Presnosť skenovania	26
6.5	Nedostatky skenovania	28
6.6	Spracovanie výsledkov	28

6.7 Zhodnotenie skenera	29
7 Záver	31
8 Literatúra	32
9 Obsah priloženého CD	34
Prílohy	35

Zoznam obrázkov

2.1	Binokulárne pozorovanie predmetov rozličnej vzdialenosti. [1]	5
2.2	Orientácia snímok pri stereoskopickom videní. [1]	6
3.1	Brewsterov šošovkový stereoskop.	7
3.2	Anaglyfický spôsob stereoskopického videnia.	8
3.3	Pasívna polarizačná metóda	10
3.4	Pulfrichov efekt.	11
4.1	Aktívna triangulácia.	12
4.2	Teodolit TDJ6E. [22]	14
4.3	Nedostatky triangulácie.	15
6.1	Webkamera Logitech quickCam S5500.	21
6.2	Laserový modul RLLH635-4-3.	22
6.3	Stojan pre pohyb lasera vo vertikálnom smere s napájaním a vypínačom. .	22
6.4	Kalibračná plocha.	23
6.5	Záber z webkamery na kalibračnú plochu.	23
6.6	Pracovisko pripravené na skenovanie.	24
6.7	Proces skenovania.	25
6.8	Hĺbková mapa z programu David-laserscanner.	25
6.9	Ukážka výsledného modelu.	26
6.10	Porovnanie výsledkov skenovania.	27
6.11	Štruktúra dreva viditeľná na modeli.	27
6.12	Neúplnosť skenovania členitého povrchu.	28
6.13	Funkcia merania vzdialeností programu MeshLab.	29

1 Úvod

Rok 2010 priniesol dlho očakávanú revolúciu. V ponukách predajní sa objavili prvé televízie s technológiou trojrozmerného obrazu. Problém však nastal s využitím novej technológie – jednoducho povedané, nebolo čo prehrávať. Okrem niekoľkých známych filmových titulov a dokumentov nebolo možné nijako využiť potenciál stereoskopického obrazu. Práve to bolo dôvodom, prečo výrobcovia začali riešiť prevod klasického 2D (Two dimensional) signálu na 3D (Three dimensional).

Moderné 3D televízie často ponúkajú funkciu, ktorá umožňuje prevod klasického vysielania, alebo prehrávania 2D titulov v 3D. Mnohí užívatelia sú týmto prevodom nadšení, musíme však podotknúť, že označiť takto prevedené video za 3D sa dá skôr nazvať len reklamným ťahom. V súčasnosti je totižto plnohodnotný prevod klasického plochého 2D obrazu do priestorového 3D obrazu v reálnom čase bez zásahu človeka nemožný. Pre 3D priestorový dojem obrazu je nutné každému oku vhodným spôsobom sprostredkovať iný obraz, ktorý je nasnímaný z uhla, z ktorého by každé oko videlo scénu, ak by sme sa pred ňou v skutočnosti nachádzali. Pri natáčaní plnohodnotného 3D videa sa tak využívajú dve kamery umiestnené vedľa seba v približnej vzdialenosti ľudských očí. Ak však bola scéna natočená len jedinou kamerou, v získanom obraze naprosto chýba informácia o hĺbke scény, teda o 3. rozmere. Tieto informácie je teda nutné nejakým spôsobom doplniť.

V tejto bakalárskej práci sa teda pokúsim priblížiť rôzne techniky a spôsoby, akými môžeme získať 3. rozmer a tak vytvoriť i keď nie úplne plnohodnotný 3D obraz. Zameriam sa na rôzne spôsoby priestorového zobrazenia. Veľká pozornosť bude taktiež venovaná triangulačnej metóde. Tá ponúka sľubné výsledky rekonštrukcie 3D obrazu pri použití zdroja svetla a kamery pri snímaní napríklad rotujúceho predmetu. Pre podobný prípad môže byť využitý i takzvaný Pulfrichov efekt pre statické alebo rotujúce scény. Treba si však uvedomiť, že za pomoci týchto i niektorých ďalších metód môžeme síce získať 3D obraz z 2D, výsledky sa však nikdy úplne nevyrovnajú 3D obrazu nasnímanému „3D spôsobom“.

Rozvoj 3D technológie sa však nerozmáha len vo filmovom priemysle. Svoje uplatnenie v hojnej miere našli i 3D skenery, ktoré dokážu vytvoriť presný model z akéhokoľvek predmetu. Ich využitie dnes zasahuje do množstva výrobných i nevýrobných odvetí, medicíny, umenia či dokonca športu. Nemožno im teda uprieť veľký význam.

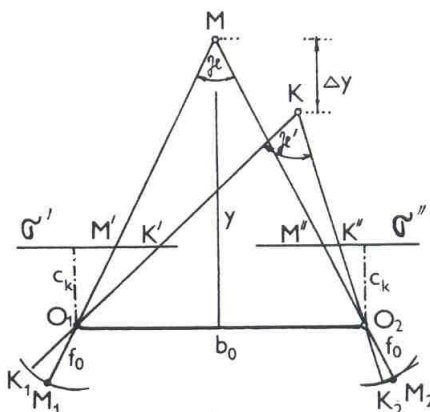
Úlohou tejto práce teda bude podať prehľad možností, akými možno dosiahnuť 3D zobrazenie a akým spôsobom rekonštruovať 3D predmet, teda využitie 3D skenerov. 3D zobrazovanie má v súčasnosti veľkú perspektívu, i keď je pre mnohých užívateľov ešte novinkou. Aký je teda najvhodnejší postup pre rekonštrukciu 3D obrazu? Je možné vytvoriť plnohodnotný 3D skener i bez vysokých finančných zdrojov? Práve tieto otázky ma viedli k výberu tejto témy pre bakalársku prácu, i keď získať aktuálne informácie nieje vždy jednoduché, nakoľko výrobcovia prichádzajú so stále novými technológiami aby uspeli v konkurenčnom boji.

2 Stereoskopické videnie

2.1 Prirodzené stereoskopické videnie

Prirodzeným priestorovým videním nazývame pozorovanie dvoma očami (binokulárne pozorovanie), pri ktorom sa obrazy skutočného predmetu vnímajú priestorovo.

Pri pozorovaní blízkeho bodu M oči usmerňujú tak, aby sa bod zobrazil v centrálnych jamkách očí (obrázok 2.1). Optické osi očí tak vytvárajú pri bode M konvergenčný uhol γ . Uhol γ sa taktiež nazýva paralaktický uhol, vzdialenosť od očnej základnice po pozorovaný bod označíme y . [1]



Obr. 2.1: Binokulárne pozorovanie predmetov rozličnej vzdialenosti. [1]

Veľkosť konvergenčného uhla určíme z rovnice: $\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \frac{b_0}{2y}$.

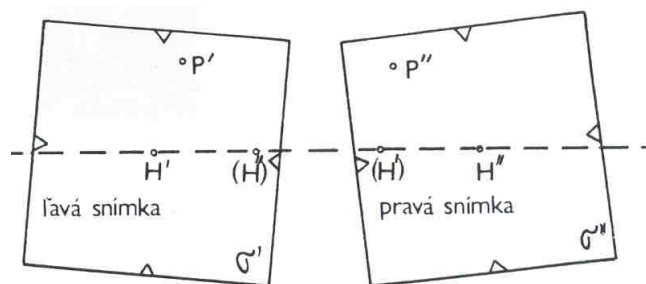
Ak je uhol γ malý, platí približný vzorec: $\gamma^c c \approx \frac{b_0}{y} \rho^c c$
kde b_0 je označená ako základnica.

V prípade, že hodnota $y=0,25\text{m}$ (najlepšia pozorovacia vzdialenosť) a očná základnica $b_0=65\text{mm}$, maximálna hodnota konvergenčného uhla bude približne $16,5^\circ$. Predpokladajme súčasnú viditeľnosť bodu K pri pozorovaní bodu M. Oba body sa zobrazia na sietnici v oblúkoch K_1M_1 a K_2M_2 . Rozdiel týchto oblúkov sa nazýva fyziologická paralaxa Δp : $\Delta p = f_0(\gamma - \gamma') = f_0\Delta\gamma$, ktorá sa bude vnímať ako hĺbkový posun bodu K vzhľadom k bodu M. Ohniskovú vzdialenosť oka označujeme f_0 . [2]

2.2 Umelé stereoskopické videnie

Umelé stereoskopické videnia vzniká nahradením zorného poľa prirodzeného priestoru pozorovaním snímok tak, že ľavému oku priradíme ľavý obraz a pravému oku pravý obraz, ktoré vyhovujú podmienkam stereoskopického videnia. Súčasným pozorovaním snímok, hlavné body H' , H'' a ich obrazy (H') , (H'') sa musia nachádzať na priamke

rovnobežnej s očnou základnicou. Splnenie podmienok stereoskopického videnia sa nazýva orientácia snímok. Spôsob vytvorenia priestorového efektu na obrázku 2.2 nazývame priamy alebo aj ortoskopický efekt, nakoľko vzdialenostné i výškové pomery medzi bodmi presne zodpovedajú skutočným pomerom ako pri priamom pozorovaní od-fotografovaných predmetov. [1]



Obr. 2.2: Orientácia snímok pri stereoskopickom videní. [1]

3 Spôsoby 3D zobrazovania

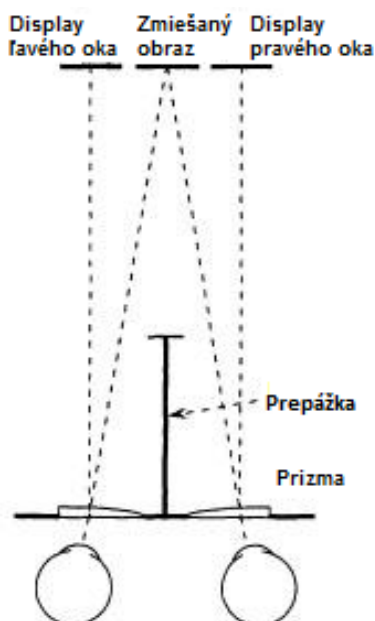
Pozorovať stereoskopické snímky voľným okom je veľmi namáhavé, ťažko totiž oddeľme podvedomú (automatickú) konvergenciu očných osí od zaostrenia oka (akomódácie). Používame preto rôzne pomôcky, ktoré nám umožňujú pohodlné pozorovanie stereoskopických snímok. Poznáme mnoho pomôcok i spôsobov umožňujúcich 3D zobrazenie.

3.1 Stereoskopy

Sú optické pomôcky na pozorovanie fotografických snímok. Stereoskop umožňuje oddeľiť konvergenciu očných osí pri pozorovaní blízkych obrazov. Jedným z nich je šošovkový stereoskop pre snímky do formátu 9 x 9 cm. Tvorí ho jednoduché šošovky s trojnásobným zväčšením. Pre pozorovanie väčších snímok môžeme použiť zrkadlový stereoskop. [7]

Brewsterov šošovkový stereoskop

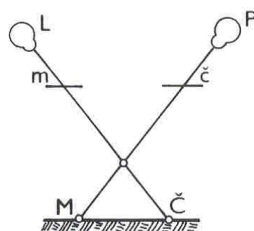
Je konštruovaný tak, že na posuvnej kartičke sú dva obrazy (jeden pre ľavé oko a jeden pre pravé oko) pozorované cez prizmatické šošovky. Tie odklonia pohľadové osy do paralelného postavenia. Medzi okuláry sa pridáva pevná prepážka pre dokonalejšie oddelenie jednotlivých obrazov. Namiesto prizmatických šošoviek je možné použiť šošovky s určitou dioptrickou hodnotou do blízka. [8]



Obr. 3.1: Brewsterov šošovkový stereoskop.

3.2 Anaglyf

Anaglyf je zmiešaný obraz tvorený z dvoch komplementárnych farieb. Vzniká zo stereoskopickkej dvojice. Anaglyfický spôsob stereoskopického pozorovania sa používa pri pozorovaní obrazov premietnutých na priemetňu projektoru alebo natlačených, prípadne nakreslených obrazov.[3]



Obr. 3.2: Anaglyfický spôsob stereoskopického videnia.

Takto zmiešané obrazy sú pozorované farebnými filtermi tých istých komplementárnych farieb. Každé oko vidí komplementárne zfarbený obraz, kým obraz rovnakej farby sa odfiltruje.

Zvyčajne používanými komplementárnymi farbami sú červená-modrá a červená-zelená.

3.3 Anachrome

Je špeciálnou variantou metódy Anaglyf. Okuliare anachrome sú veľmi podobné klasickým anaglyfickým okuliarom, majú však modrozelené sklíčko, ktoré je viac do zelena. Na túto metódu sú potrebné špeciálne kódované obrázky. Tie však možno pozorovať i klasickými red-cyan okuliarmi a naopak, je možné pozorovať okuliarmi Anachrome i klasicky kódované anaglyf obrázky. Zvláštnosťou Anachrome metódy je, že pravým sklíčkom (modrozelená farba) sú vidieť všetky 3 farby (červená, zelená, modrá). Červená farba je teda vidieť cez oba filtre, cez každú je ale vidieť iný odtieň. Cieľom tejto metódy je odstrániť farebný šok, ktorý na naše oči pôsobí pri použití bežných anaglyfov. [9]

Výhody:

Metóda je veľmi lacná, dostupná pre širokú verejnosť. Nie sú potrebné žiadne špeciálne drahé metódy.

Nevýhody:

Obráz je farebne deformovaný, pozorovateľ stráca farebnú informáciu. Vďaka nekvalitnému obrazu nie je táto metóda natoľko obľúbená ako iné 3D metódy.

3.4 Chromadepth

Atypická metóda vytvárania stereoskopického obrazu využitím difrakcie a následnej interferencie bieleho svetla pri priechode optickou mriežkou. Optická mriežka využíva

princíp ohybu svetla. K difrakcii, teda ohybu, dochádza na prekážke alebo štrbine, ktorá je podobne veľká ako vlna svetla. Svetlo sa šíri aj do priestoru za prekážkou. Za prekážkou je svetlo koherentné (vlny majú rovnakú fázu) a na tienitku môžeme pozorovať interferenciu (skladanie vln) svetla. Ak je dráhový rozdiel dvoch rovnakých monochromatických vln rovný celým násobkom vlnovej dĺžky, dochádza k súčtu a výsledok je, že farbu vidíme jasnejšie. Ak dochádza k dráhovému rozdielu o celé násobky vlny mínus jednej polovice vlny, stretnú sa vlny v protifáze. Vlny sa potlačia a pozorujeme na tienitku tmú. Červená ako dlhovlnná (680 nm) má svoje maximum ďalej ako modrá krátkovlnná (460 nm). Tak dochádza k tomu, že červená je vidieť ďalej od kolmice tienitko – prekážka. V okuliaroch chromadepth je mriežka, v ktorej sú vyrazené malé hranoly a sústred'ujú energiu do prvých maxim vlnových dĺžok. Pri pozorovaní červená farba dopadá na nekorešpondujúce miesta sieťnice skrížene, zelená farba (550 nm) približne na korešpondujúce miesta a modrá farba na nekorešpondujúce miesta skrížene. Tak sa nám javia červené miesta najbližšie, modré najďalej a zelené v strede. [10]

3.5 Polarizovaná projekcia

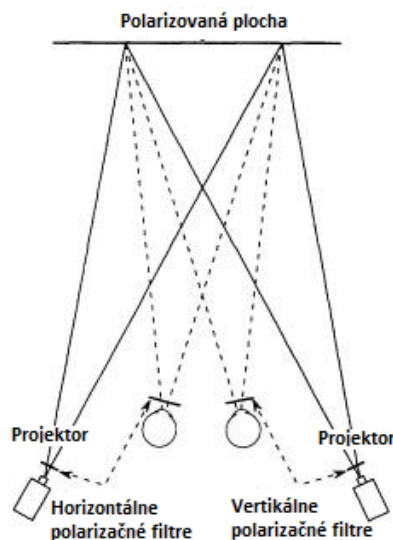
Polarizáciou svetla nazývame jav, kedy majú lúče rovnaký charakter vlnenia. Pri prenikaní svetla priestorom sa mení jeho magnetické pole na elektrické a naopak. Samotná polarizácia vzniká pri odraze pod Brewsterovým uhlom (uhol odrazu, pri ktorom lomený a odrazený lúč zvierajú pravý uhol), alebo pri priechode špeciálnymi kryštálmi „polaroidmi“. Rozoznávame dve hlavné metódy polarizácie.

Aktívna polarizácia

Aktívna polarizácia je metóda využívajúca jeden projektor. Ten striedavo premieta obrázky pre pravé a ľavé oko. Okuliare, ktoré sú k tomu potrebné, obsahujú senzor detekujúci, ktoré obrazy sú pre pravé a ktoré pre ľavé oko. Zároveň zaslepuje druhé oko, ktoré nemá daný obrázok vidieť. Minimálnou hranicou projekcie obrazov je 30Hz, čo znamená 15 obrazov pre každé oko. To už však hraničí s plynulosťou zobrazovacej scény. Doporučených je 60 Hz. Hlavnou výhodou tejto metódy je, že človek môže ľubovoľne natočiť hlavu do akéhokoľvek smeru a pri tom stále vidí správny obraz pre dané oko (nie ako u pasívnej polarizácie). Nevýhodou však je, že kvôli blikaniu obrazov dochádza k rýchlejšej úneve očí. [6]

Pasívna polarizácia

Pasívna polarizácia funguje na princípe dvoch projektorov, kedy jeden projektor je polarizovaný v uhle 45° , druhý je polarizovaný v uhle 135° . Pozorovateľ má nasadené polarizačné okuliare, v ktorých sú rozmiestnené filtre pre príslušné oko. V súčasnosti sa používa kruhová polarizácia. Nedochoádza pri nej totižto k tak veľkým stratám jasu, ako tomu bolo u lineárnej polarizácie. Nevýhodou je, že pozorovateľ sa musí nachádzať v presnej polohe pred premietacím plátnom. Na obrázku 3.3 vidíme pasívnu polarizačnú metódu s použitím dvoch projektorov. [4]



Obr. 3.3: Pasívna polarizačná metóda

Výhody:

Je možné používať lacné polarizačné okuliare, tie sú ľahké – pri dlhšom používaní nás nijako neobmedzujú. Táto metóda poskytuje plne farebnú informáciu. Obraz môžeme pozorovať vo veľkom rozlíšení. Vhodné do kín, kde je viac divákov. Obraz je stabilný.

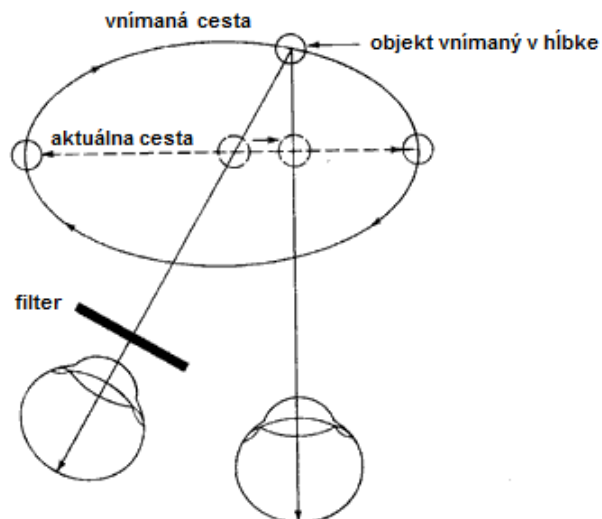
Nevýhody:

Pre túto metódu je nutné použiť dva projektory. Plátno, na ktoré sa premieta musí byť špeciálne, aby pri odraze zachovalo polarizáciu. Väčšinou sa používa plátno s hliníkovou povrchovou úpravou. Túto metódu nemožno používať na bežných televíznych prijímačoch s plochou obrazovkou a monitoroch. [5]

3.6 Pulfrichov efekt

Nemecký fyzik Carl Pulfrich zaoberajúci sa optikou už v roku 1922 zistil, že obraz, ktorý je pozorovaný cez tmavý filter, dorazí do mozgu neskôr ako obraz pozorovaný voľným okom bez akýchkoľvek prekážok v pozorovanej dráhe. Oneskorenie predstavuje približne 15ms. [11] Najpravdepodobnejším vysvetlením je, že ak zoslabíme signál, ktorý je vedený z oka do mozgu, zapríčiníme oneskorenie tohto signálu. Keďže oko potrebuje zvýšiť svoju citlivosť na svetlo, jeho receptory musia byť viac prepojené a na to je potreba viac času. Táto doba sa ešte predĺži, pretože nízka intenzita osvetlenia vedie k zníženiu prenosovej rýchlosti. [12] Preto pri sledovaní videa (s použitím tmavého filtra), ktoré je v horizontálnom pohybe, mozog spojí aktuálny a oneskorený obraz a vzniká tak priestorový vnem. Ideálnym príkladom je záber z okna idúceho vlaku, prípadne záber na rotu-

júce teleso. Tmavý filter umiestňujeme pred to oko, ku ktorému sa videozáznam pohybuje (ak sa videozáznam pohybuje zľava doprava, filter patrí pred pravé oko a opačne).



Obr. 3.4: Pulfrichov efekt.

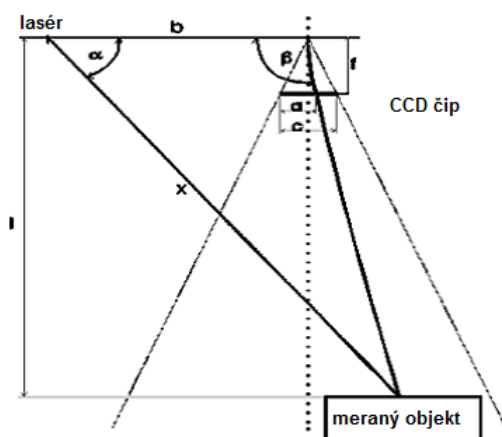
Tento efekt možno pozorovať na horizontálne sa pohybujúcich objektoch s použitím jednoduchých okuliarov, ktoré majú filter na jednom oku tmavý a na druhom svetlý. Hlavnými výhodami tohto postupu je, že nepotrebujeme dva stereoskopické obrazy, nestrácame farebnú informáciu a bez použitia okuliarov je možné pozorovať plnohodnotný 2D obraz. Nevýhodou však je, že tento postup nemožno použiť u statických snímok.

4 Triangulačná metóda

4.1 Aktívna triangulácia

Ide o fotogrametrickú rekonštrukciu snímaného objektu nasvietením jeho povrchu svetelným zdrojom, ktorým môže byť laser alebo LED a súčasným snímaním povrchu objektu CCD(Charge coupled device) snímačom v CCD kamere alebo CMOS snímačom. Výsledkom snímania je rastrový obraz. Zdroj svetla, CCD snímač a osvetlený bod vytvárajú triangulačný trojuholník. Spojnicu b medzi svetelným zdrojom a snímačom nazývame triangulačná báza.[13]

Na strane zdroja je uhol zvieraný s triangulačnou bázou nemenný, kdežto na strane snímania je uhol určený premennou pozíciou vysvieteného bodu CCD snímača. Z veľkosti tohto uhla a na základe vedomostí triangulačnej bázy a parametrov kamery možno určiť z-ovú súradnicu objektu (vzdialenosť l).



Obr. 4.1: Aktívna triangulácia.

Techník 3D triangulácie je niekoľko:

- technika moiré, technika svetelného vzoru, technika farebného kódu, technika fázového posunu.

Túto metódu môžu negatívne ovplyvniť rôzne situácie ako konkavity objektu, plochy rovnobežné k zdroju svetla, povrch (materiál, farba), alebo plochy kolmé na obrazovú rovinu. Rozlíšenie závisí na meranej vzdialenosti, veľkosti bázy b , uhle alfa, rozlíšení kamery, ohniskovej vzdialenosti f objektívu.

Na označenie povrchu sa používa:

- svetelný lúč (1D triangulácia)
- svetelný pruh (2D triangulácia)
- štruktúrovaný svetelný zväzok (3D triangulácia)

Pri použití svetelného zväzku (trojrozmerná triangulácia) je objekt zmeraný naraz, čo je značne rýchlejšie v porovnaní s jednorozmernou a dvojrozmernou trianguláciou. Vtedy je totižto nutné scénu merať postupne. Postupné meranie je nevhodné i v prípade pohybujúcich sa objektov. V laserových skeneroch napr. Minolita Vivid sa pre rekonštrukciu povrchu objektu používa dvojrozmerná aktívna triangulácia. Na povrch predmetu sa vysiela rozmetaný laserový pruh, ktorý je následne snímaný CCD kamerou (obsahuje CCD čip s príslušnou optikou). Samotný laserový pruh vzniká priechodom laserového lúča cez špeciálnu optickú sústavu. Tá obsahuje cylindrické šošovky. Svetelný pruh sa po povrchu objektu postupne pohybuje. To môžeme dosiahnuť dvoma spôsobmi. Za emitore laserového pruhu a optickú sústavu umiestnime elektronicky ovládané zrkadlo, ktoré bude laserový pruh vychyl'ovať. Druhým spôsobom je umiestniť snímaný objekt na otočný tanier. Pozícia lasera bude síce nemenná, objekt sa však bude otáčať a laserový pruh tak prejde celým povrchom objektu. Jedným z týchto spôsobov získame sériu snímok, z ktorých môžeme zrekonštruovať pôvodný povrch telesa. Rýchlosť pohybu lúča po povrchu je obmedzená rýchlosťou vyčítania dát z CCD čipu. Táto rýchlosť sa pohybuje v rozmedzí 10ms – 100ms (podľa svetelného výkonu lasera).[14]

4.2 Pasívna triangulácia

Táto technika používa najčastejšie metódu stereovidenia. Tá je založená na princípe zrkovného systému človeka pri odhade vzdialenosti. Funkciu očí však nahrádzajú dva CCD snímače. Vzájomná vzdialenosť ich stredov je približne 65 mm (podobne ako u ľudských očí). Za použitia dvoch snímačov získame dva stereoskopické snímky. Tie predstavujú dva perspektívne obrazy. Z uhla snímaného združenými lúčmi možno získať vzdialenosť povrchu od stredu pohľadu oboch snímačov.

Pri pasívnej triangulácii nieje vždy známe geometrické usporiadanie súčastí systému (ako je tomu pri aktívnej triangulácii). Na rozdiel od aktívnej triangulácie sú pri pasívnej často využívané viaceré kamery. Tretí rozmer sa tak získa z relatívnych polôh jednotlivých kamier alebo pomocou samokalibrácie. Tento systém nazývame dynamickým. Druhým spôsobom je systém statický. Ten sa vyznačuje použitím jednej kamery, ktorá sníma predmet z rôznych pohľadov a uhlov.[15]

Podľa počtu kamier sa pasívna triangulácia delí na

1. pasívna triangulácia so známou orientáciou viacerých kamier
2. pasívna triangulácia so samokalibráciou viacerých kamier
3. pasívna triangulácia so samokalibráciou jednej kamery v rôznych polohách

Stereovidenie tvorí podskupinu pasívnej triangulácie. Pre učenie tretieho rozmeru využíva simuláciu ľudského zraku. Pravé oko si vytvára svoj vlastný obraz nezávisle od ľavého oka, rovnako tak i CCD kamery. Združené zorné lúče sa v priestore premietnu a vzájomne sa pretnú. Takouto spoluprácou vzniká priestorový obraz.

Samokalibrácia

Pre samokalibráciu sa používa kalibračný predmet, ktorý je umiestnený na viditeľnom mieste snímania kamery. Poloha kamery vzhľadom voči meranému predmetu známa nieje, jej relatívna poloha sa však určí na základe kalibračného predmetu. Rozmery kalibračného predmetu sú známe a často doplnené o nejaký známy vzor. Systém potom určuje a vypočítava všetky potrebné skutočné vzdialenosti bodov predmetu (vrátane tretieho rozmeru) pomocou kalibračného predmetu a jeho mierky.[13]

4.3 Merací systém s teodolitom

Najpresnejším triangulačným systémom je bez pochyb teodolit. Ten je schopný merať s relatívnou chybou len pod $5 \cdot 10^{-6}$ percent. Veľká výhoda - vysoká presnosť je však dosahovaná na úkor rýchlosti merania. Meraný objekt musí byť zameraný najmenej dvoma teodolitmi. Vertikálne a horizontálne uhly sú elektronicky merané, 3D súradnice sú určené z meraných uhlov a zo známych pozícií teodolitov.



Obr. 4.2: Teodolit TDJ6E. [22]

Teodolity sa používajú pri meraní veľkých objektov. Uplatnenie teda našli v geodézii, stavebníctve a podobne. Súčasné moderné systémy obsahujú kvalitný ďalekohľad, elektroniku, ktorá vyhodnocuje meranie a vykonáva niektoré výpočetné úkony. Ďalej disponuje prehľadným displejom a celý tento systém je umiestnený na oddeliteľnej trojnožke. Niekedy obsahujú i doplnky, akým môže byť napríklad 1D laserový merač vzdialenosti. [16]

4.4 Fokusovacie techniky

Dôležitými parametrami sú hĺbka ostrosti a priemer krúžku vzniknutého difrakciou v ohniskovej rovine. Ten závisí na ohniskovej vzdialenosti a numerickej aparatúre.

Známe sú 3 rôzne metódy

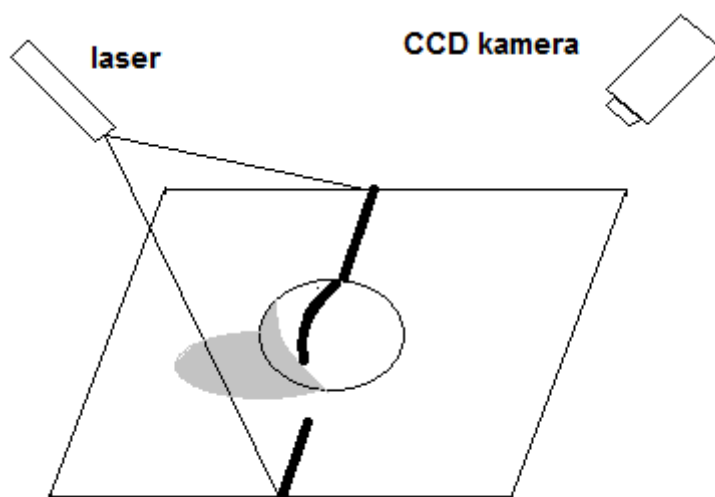
1. konfokálna mikroskopia
2. kontrolované fokusovanie
3. rozfokusovacie metódy

4.5 Technika podoba z tieňovania

Princíp funguje na určení povrchovej normály povrchových elementov z ožiarenia, tieňov a rôznych odleskov na obraze a taktiež zo známej pozície kamery a zdrojov svetla. Z normál sú potom vypočítané 3D tvary. Túto techniku možno rozšíriť o pohyblivé zdroje svetla alebo obrazy s rôznym osvetlením.

4.6 Nedostatky triangulácie

Problémom pre trianguláciu sú členité povrchy. Ťažko pri nich zaručíme, že vysielaný vzor bude dobre viditeľný CCD kamerou, alebo že sa svetelné vyžarovanie dostane na každé miesto povrchu členitého predmetu. V týchto prípadoch triangulácia nedokáže úplne presne popísať povrch predmetu. Tento príklad je viditeľný na obrázku 4.3. Je tu znázornená 2D triangulácia. Ako svetelný zdroj je použitý laser vysielajúci svetelný pás. Svetelný pás sa nedostáva na spodnú stranu gule. [13]



Obr. 4.3: Nedostatky triangulácie.

5 Prostriedky rekonštrukcie

5.1 CCD snímač

CCD snímač je polovodičová súčiastka, ktorá bola pôvodne vyvíjaná pre použitie ako pamäťový čip. Ako pamäť sa však nikdy veľmi nevyužívala, no jej schopnosť prevádzať dopadajúce svetlo na veľkosť náboja umožnila vznik snímača obrazu.

Dopadajúce svetlo na povrch kremíkovej doštičky v podobe fotónov (balíčkov energie) sa ukladá ako náboj v potencionálnych jamách. Tie zabraňujú voľnému pohybu elektrónov a tým aj náboja po čipe a dochádza tak k jeho akumulovaniu. Každá takáto potenciálová jama predstavuje jednu bunku CCD snímača. Veľkosť zachyteného náboja je hlavne ovplyvňovaná intenzitou dopadajúceho svetla a dobou, po ktorú necháme CCD čip vystavený svetlu. Veľkosť náboja Q v potenciálovej jáme je daná vzťahom

$$Q = \int_0^T \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Delta x \Delta y E(\lambda, t) \gamma(\lambda) d\lambda dt$$

kde $E(\lambda, t)$ je ožiarenie plochy bunky o rozmeroch $\Delta x \Delta y$, $\gamma(\lambda)$ je spektrálna citlivosť fotoelektrického prvku spolu s optikou v rozsahu vlnových dĺžok λ_1, λ_2 , T je doba integrácie nábojov.[17]

5.2 Laser

Laser je z fyzikálneho hľadiska kvantovo elektrický zosilovač elektromagnetického žiarenia najčastejšie v oblasti viditeľného svetelného spektra a príľahlých vlnových dĺžok. Je zdrojom veľmi intenzívneho monochromatického a časovo i priestorovo koherentného žiarenia.

Princíp lasera je založený na stimulovanej emisii fotónov v aktívnom prostredí lasera, nachádza sa v najnižšom energetickom stave. Ak sú tieto častice excitované do vyšších energetických stavov vonkajším zdrojom energie, napr. intenzívnymi svetelnými zábleskami alebo elektrickým výbojom, budú pri prechode do pôvodného energetického stavu vyžarovať nekoherentné svetelné žiarenie. U laserov sa tieto emitované fotóny pohybujú v optickom rezonátore tvorenom protíľahlými, vysoko leštenými a rovnobežnými zrkadlami. Pri priechode fotónu okolo excitovanej častice dôjde k jej stimulácii a vyžiareniu fotónu rovnakej vlnovej dĺžky a smeru pohybu ako pôvodný fotón. Tak dochádza k postupnému zvyšovaniu toku fotónov, ktoré po priechode jedným zo zrkadiel, ktoré je čiastočne priepustné, vytvárajú veľmi intenzívny koherentný zväzok.[17]

Každý laser sa skladá z troch základných častí:

1. aktívne zosilovacie prostredie
2. zdroj energie
3. optický rezonátor

5.3 Skenery

Digitalizácia objektov je možná vďaka skenovacím zariadeniam. Zariadenia umožňujúce prevod reálnych trojrozmerných objektov do digitálnej podoby nazývame 3D skenery.

Princíp fungovania väčšiny skenerov je založený na nasnímaní povrchu objektov v diskretných bodoch. Výsledkom je, že zdigitalizovaný objekt je v počítačovej podobe reprezentovaný veľkým počtom bodov v priestore tzv. mrak bodov. Jednotlivé skenery sa od seba odlišujú hlavne spôsobom, akým dochádza k skenovaniu povrchu objektu.

5.3.1 Dotykové skenery

Vyžadujú priamy fyzický kontakt s povrchom skúmaného objektu. Tvar predmetu na-
definujú pomocou kriviek, ktoré sú získavané obťahovaním hrotom po povrchu objektu. Krivky sa spoja plochou a vznikne tak povrch skenovaného predmetu.[19]

5.3.2 Bezdotykové skenery

Nevyžadujú fyzický kontakt skenera s povrchom objektu. Medzi ich výhody patria: kvalitný výstup, hustejšia sieť bodov (aj v miestach kde sa hrot dotykového skenera nedostane), kratšia doba skenovania. [20]

5.3.3 Mechanické skenery

Patria medzi dotykové skenery. Tvoria ich : základňa, hrot a niekoľko ramien spojených kĺbmi. V jednotlivých kĺboch, ktoré konštrukciou pripomínajú stavbu ľudskej ruky sú umiestnené senzory zaznamenávajúce polohu natočenia každého ramena. Za pomoci týchto senzorov systém rozpoznáva polohu bodov nasnímaných na objekte. Pred samotným skenovaním je potrebné predmet pripraviť. Vyznačí sa na ňom niekoľko bodov, ktoré najlepšie vystihujú tvar predmetu. Rozmiestnenie a počet týchto bodov závisí od tvarovej členitosti povrchu. Výstupom skenovania sú body a krivky dané súradnicami x, y, z . Mechanický skener nezískava informácie o textúre povrchu, len o jeho tvare. Presnosť tohto snímania sa pohybuje v okolí desiatín milimetra. Tento skener je značne rozšírený i pre jeho pomerne nízku cenu. Využitie našiel v oblasti dizajnu, animácií, tvorbe počítačových hier a podobne. Príkladom mechanického skenera je zariadenie Microscribe 3D od firmy Immersion.[21]

5.3.4 Optické skenery

Na rozdiel od predchádzajúcich skenerov, optické skenery pracujú na princípe bezdotykového snímania. Dokážu rozpoznať aj textúru povrchu a digitalizujú vonkajší povrch. Pred samotným snímaním je potrebné predmet pripraviť podobne ako u mechanického skenera. Na povrch predmetu sa nalepia značky slúžiace na presnejšie vystihnutie tvaru povrchu. Snímanie prebieha pomocou kamery alebo fotoaparátu. Pri použití kamery sa

predmet najskôr nasvieti pomocou zdroja svetla vysielajúceho svetelné pásy (napr. projektor). Pásy svetla kopírujú povrch a súčasne sú snímané kamerou. Pri snímaní fotoaparátom je potrebná i kalibračná mierka položená pri predmete. Predmet sa nafotí z rôznych uhlov a pomocou značiek systém poskladá fotografie do priestorového zobrazenia. Kvalita procesu závisí od množstva vyhotovených fotografií. Optický skener je možné použiť i ako meracie zariadenie pre meranie vibrácií či deformácií pri statickom či dynamickom zaťažovaní. Optické skenery pre český trh vyrába firma MCAE Systems.[18]

5.3.5 Laserové skenery

Pre skenovanie predmetu nevyžadujú kontakt s jeho povrchom. Zaradujú sa teda medzi bezkontaktné skenery. Laserový skener využíva vlastnosti laserového lúča. Laserový lúč je vysielaný smerom k povrchu predmetu, po náraze naň sa odrazí a putuje späť do skenera. Následne sa vyhodnocuje doba letu lúča, táto doba dáva informáciu o vzdialenosti skenovaného bodu a uhol návratu lúča zasa informáciu o naklonení tohto bodu. Pomocou týchto dvoch bodov je systém schopný rozpoznať geometriu skenovaného miesta. Takto skener prejde celý povrch. Kvalita digitálneho modelu je daná hustotou lúča. Týmto postupom je možné zachytiť geometriu predmetu, nie však jeho textúru. Aby sme to dosiahli, využíva sa spojenie laserovej technológie s optickou. Nevýhodou laserových skenerov je ich vysoká cena. Laserové skenery v súčasnosti vyrába firma Konica Minolta. [19] [20]

5.3.6 Deštruktívne skenery

Hneď v úvode je potrebné uviesť, že skenovať predmet bude pri skenovaní deštruktívnym skenerom zničený. Preto je jeho použitie značne obmedzené. Tento skener však dokáže skenovať nie len vonkajšiu, ale aj vnútornú geometriu predmetu. Pomocou neho môžeme digitalizovať i zložité tvary ale i napríklad dutiny vo vnútri predmetu. Pred skenovaním sa predmet zaleje špeciálnym materiálom. Ten zabezpečí vysoký kontrast farby materiálu s predmetom a vyplní všetky dutiny. Zaliaty predmet sa vloží do skenera a ten začne frézovanie. Fréza odstráni veľmi tenkú vrstvu predmetu a skener zosníma povrch, ktorý vznikol. Tento postup sa postupne opakuje, až sa postupne odfrézuje celý predmet zaliaty materiálom. Výhodou tohto skeneru je, že dokáže digitalizovať i vnútornú časť predmetov, čo napríklad optický, mechanický či laserový skener nedokáže. Samozrejmosťou nevýhodou však je zničenie celého predmetu. Deštruktívne skenery môžeme nájsť v ponuke firmy CGI. [19] [23]

5.3.7 Ultrazvukové skenery

Sú to nedeštruktívne a bezkontaktné skenery, prevažne mobilné. Skenovanie vykonáva ultrazvuková sonda v tvare pištole. Ultrazvukový signál vyslaný sondou sa preloží do 3D súradníc, ktoré sa následne pošlú do CAD (Computer Aided Design) programu. Tieto skenery sú mobilné a lacné, neponúkajú však vysokú presnosť (len 0,3-0,5 mm).[19]

5.3.8 Röntgenové skenery

Röntgenové skenery patria podobne ako ultrazvukové k nedeštruktívnym, bezdotykovým a mobilným. Technológia sa zakladá na röntgenovom žiarení. Tento skener pracuje rovnako ako röntgeny používané v nemocniciach. Líšia sa len v intenzite vyžarovania. 3D skener má túto intenzitu vyššiu. Výsledkom je digitalizácia i vnútornej geometrie predmetu a to bez jeho zničenia, čo je v porovnaní s deštruktívnymi skenermi obrovská výhoda. Tieto skenery však nedokážu zaznamenať farbu objektu. [19]

5.3.9 Využitie 3D skenerov

Strojárske priemysel

Hlavným odvetvím pre využitie 3D skenerov je strojárstvo. Skenery sa tu používajú pri úprave či výmene súčiastky, ku ktorej chýba výkresová dokumentácia. 3D skener vytvorí model danej súčiastky, ktorý je možné upraviť v CAD programe. Z tohto modelu je možné vytvoriť výkres, za pomoci ktorého môže byť vyrobená nová súčiastka. [24] [20]

Automobilový priemysel

Hlavné využitie 3D skenerov v automobilovom priemysle je pri vývoji dizajnu nového automobilu. V dnešnej dobe sa totižto pri konštruovaní automobilov využívajú hlinené modely. Keďže ide často o model komplikovaných tvarov, 3D skener sa používa na ich prenesenie do počítačového 3D modelu. [24]

Umenie

Skenery v umení vytvárajú skeny pre kópie originálov. Originál tak môže byť uchovaný pre jeho dlhú životnosť, zatiaľ čo vystavená bude jeho kópia. [24]

Medicína

V medicíne sa používajú 3D skenery napríklad pri výrobe kĺbových implantátov, nakoľko nový implantát musí byť presný. Digitalizácia ľudských tkanív je ďalším príkladom využitia skenerov v medicíne. [24]

Film a počítačové hry

Pri vytváraní postáv do filmov či počítačových hier sa v hojnej miere využívajú 3D skenery. Naskenovaný 3D model sa upravuje v špecializovaných programoch, kde sa animuje. Takouto technikou bol vytvorený napríklad film Jurský park. [24]

Odevnícky priemysel

Pri oblečení sa skenujú postavy, ktoré slúžia ako predloha pri vytváraní oblečenia. V obuvníckom priemysle sa zasa skenujú chodidlá ako predloha pre topánky. Túto možnosť využívajú hlavne vrcholoví športovci, získajú tak odev, obuv presne na ich mieru. [24]

Kozmetický priemysel

V kozmetike sa 3D skenery používajú pri vývoji nových látok, napríklad na odstraňovanie vrások. Skenerom sa skenuje ľudská tvár a vrásky na nej v pravidelných intervaloch a tak sa dokazujú výsledky pokusov. [24]

Prezentácia produktu

Rôzne spoločnosti v súčasnosti využívajú 3D skener pre vytvorenie 3D modelu svojho produktu. Tento model potom umiestnia na stránku svojho elektronického obchodu, aby dali potenciálnym kupujúcim presnejšiu predstavu o výrobku. Tento spôsob je obľúbený hlavne u predajcov mobilných telefónov. [24]

6 Zhotovenie 3D skenera

V praktickej časti som sa rozhodol zkonštruovať a otestovať 3D skener. Rozhodol som sa pre bezkontaktný laserový skener využívajúci nasvecovanie skenovaného objektu svetelným zdrojom a jeho súčasné snímanie kamerou. Ako svetelný zdroj slúžil laser vykresľujúci čiaru a pre snímanie bola použitá webkamera pripojiteľná cez USB rozhranie pre priamu interakciu so softwarom v reálnom čase.

6.1 Potrebné vybavenie

Pre samotnú konštrukciu som mal k dispozícii webkameru Logitech, disponujúcu rozlíšením 1280x1024px, dosiahnuteľné rozlíšenie u tejto kamery je len 1,3 megapixelov. Nízke rozlíšenie kamery ovplyvňuje i výsledok skenovania. Platí, že čím vyššie rozlíšenie, tým lepší výsledok. Kvalita môjho výsledku je teda ovplyvnená i rozlíšením použitej kamery. Rozlíšenie kamery totižto reprezentuje i schopnosť kamery presne rozpoznať hrany predmetu a ako som sa pri testovaní sám presvedčil, mierne komplikuje i proces kalibrácie.



Obr. 6.1: Webkamera Logitech quickCam S5500.

Ako svetelný zdroj som použil laser. K dispozícii som mal laserový modul RLLH635-4-3. Dôležité je, aby použitý laser vykresľoval čiaru, nie bod. Dôvodom je, aby súčasne osvietil celú prednú časť skenovaného predmetu i kalibračnú plochu po jeho stranách. Tento laser dosahuje výstupný výkon 4mW, čo na testovanie stačí, no opäť platí, čím výkonnejší laser, tým lepší výsledok. Výsledok skenovania ovplyvňuje i šírka laserového lúča a jeho ostrosť. Tento model žiaľ nedisponuje regulátorom ostrosti lúča, kompenzoval som to zmenou vzdialenosti lasera od kalibračnej plochy. Polohu lasera som menil tak, aby bol jeho lúč na ploche čo možno najostrejší a najtenší. Ako sa neskôr ukázalo, bolo potrebné zhotoviť i posuvný stojan, na ktorý bol následne laserový modul pripevnený, pre jeho lepšiu a presnejšiu stabilitu a manipulovanie. Tento modul taktiež nedisponoval žiadnym zdrojom napätia, preto bolo potrebné doplniť i ten. Laserový modul, zdroj napätia a tlačidlový spínač tvoria základné časti konštrukcie vertikálne posuvného stojanu.



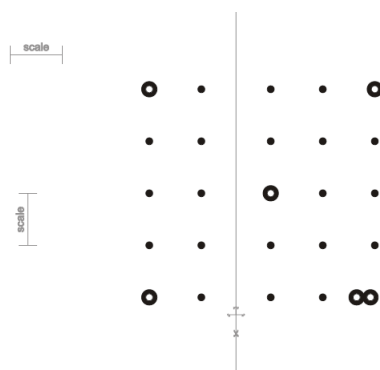
Obr. 6.2: Laserový modul RLLH635-4-3.

Ako zdroj napätia pre laserový modul som použil 2x AA batériu s napätím 1,5 V. Výsledné napätie teda zodpovedalo približne 3V. Do obvodu s laserom a batériami som pripojil i tlačidlový vypínač, pre jednoduché ovládanie lasera. Samotný laser som potom upevnil na mnou skonštruovaný posuvný (vo vertikálnom smere) stojan, aby bol pohyb lasera plynulý a rovnomerný a hlavne, aby bol uhol na strane lasera nemenný počas celej doby skenovania. Tento posuvný stojan potom zaručil plynulý pohyb laserového modulu vo vertikálnom smere počas celej doby skenovania bez nutnosti regulácie rukou, čo by spôsobovalo nelinearitu pohybu, lúč by sa tak mohol pohybovať prirýchlo. To by spôsobilo neúplnosť nasnímania.



Obr. 6.3: Stojan pre pohyb lasera vo vertikálnom smere s napájaním a vypínačom.

Kalibračná plocha je vytlačená v mierke A4 alebo A3, v závislosti na rozmeroch objektov, ktoré budeme skenovať. Pri konštrukcii tohto skenera bola použitá menšia varianta A4. Vyberal som totižto malé objekty s detailmi, aby som tak otestoval, do akej miery bude tento skener presný. Na ploche je vyznačených celkom 25 kalibračných bodov, ktoré slúžia na kalibráciu kamery a mierka, v ktorej je táto plocha vytlačená. Túto mierku môžeme ľubovoľne upravovať a tak je možné vytvoriť kalibračnú plochu a tak i skener pre skenovanie predmetov oveľa väčších rozmerov. Celá plocha je v 90° uhle, skenovaný predmet patrí do rohu. Umiestnený je tak, aby boli zároveň viditeľné i niektoré body po jeho stranách, teda aby neprekrýval všetky body kalibračnej plochy.



Obr. 6.4: Kalibračná plocha.

Pre skenovanie je potrebný i software, ktorý samotné skenovanie spracuje. Zvolil som program David-Laserscanner . K dispozícii som mal však len jeho bezplatnú, skúšobnú verziu, ktorá má značné obmedzenia. Ponúka však pomerne jednoduché prostredie, i keď nieje úplne bezproblémový. Potrebný je i software pre ďalšie spracovanie naskenovaného modelu. Zvolil som voľne dostupný program Blender 2.66 a Meshlab. V týchto programoch môžeme jednotlivé modely upravovať, odstraňovať nežiadúce prvky i spájať samotné modely.

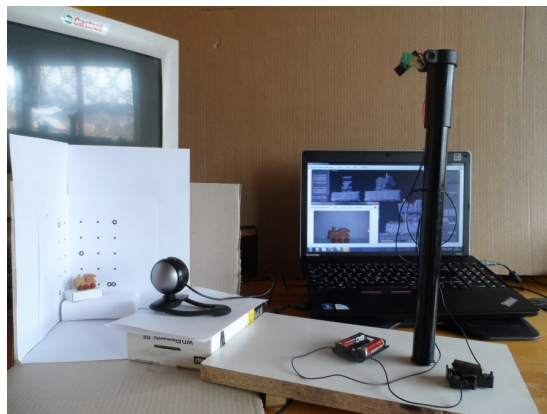
6.2 Postup zhotovenia pracoviska

Základom celého skenera je rohová konštrukcia, ktorá bude snímaná kamerou. Tvorí ju kalibračná plocha, ktorá je prehnutá v 90° uhli . Následne je plocha pripevnená k pevnejšej rohovej konštrukcii, aby bola kalibračná plocha úplne rovná a nevznikali žiadne oblúky. Pred kalibračnú plochu následne umiestnime webkameru tak, aby snímala práve len kalibračnú plochu, prípadne bielu plochu okolo nej. V inom prípade by nebolo možné kameru nakalibrovať.



Obr. 6.5: Záber z webkamery na kalibračnú plochu.

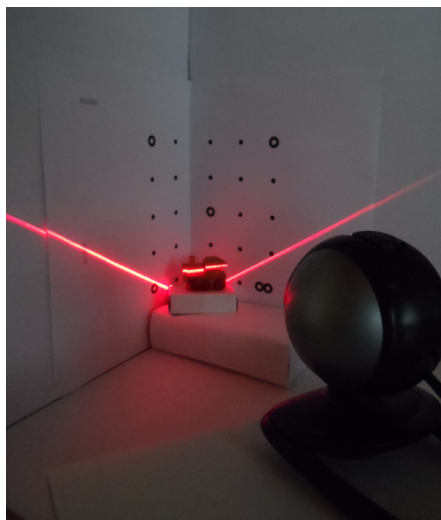
Za kameru umiestnime pohyblivý stojan s laserovým modulom tak, aby bol laser schopný pri vertikálnom pohybe osvetliť vrchnú i spodnú hranu kalibračnej plochy a to pri uhle asi 30° . Po pripojení kamery k počítaču a nainštalovaní programu David-Laserscanner je pracovisko pripravené na skenovanie. Výsledné pracovisko je zobrazená na obrázku 6.6.



Obr. 6.6: Pracovisko pripravené na skenovanie.

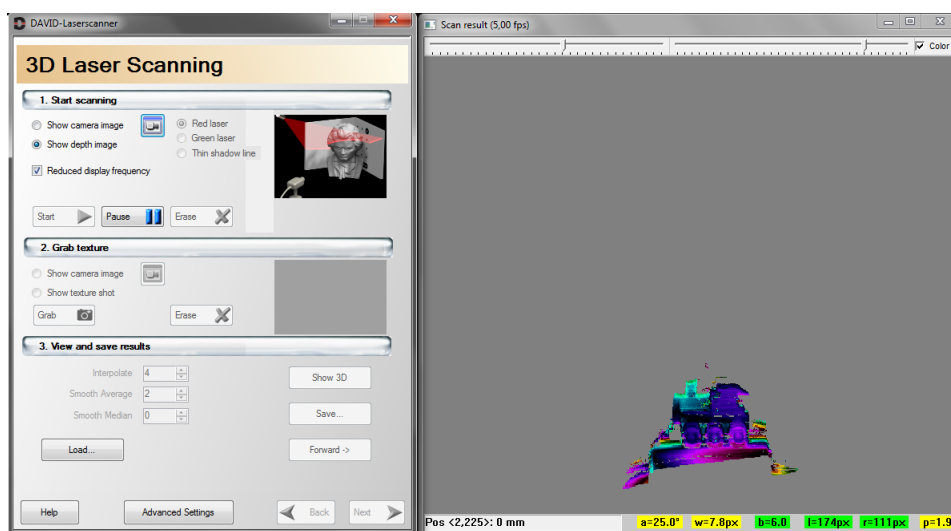
6.3 Proces skenovania

Po spustení programu David-Laserscanner je potrebné v úvode nastaviť zariadenie, ktoré bude použité pre snímanie videa. Po vybraní Logitech S550 z ponuky je potrebné toto zariadenie nakalibrovať. Nastaví sa mierka nami vybranej kalibračnej plochy. Kalibráciu môžeme vykonať „Automaticky“. No po potvrdení kalibrácie málokedy prebehne kalibrácia úspešne. Pri kalibrovaní kamery je totižto potrebné, aby bolo snímané video čo možno najsvetlejšie. Dosiahnuť to môžeme reguláciou svetla v miestnosti alebo systémovo, zmenou jasu v nastaveniach kamery. Po tomto kroku umiestnime kameru do vzdialenosti asi 25-30cm od rohu kalibračnej plochy. Kalibráciu opakujeme a zároveň meníme polohu kamery a jas videa, až pokiaľ neprebehne kalibrácia úspešne. V ďalšom kroku nastavíme farbu svetelného lúča, ktorý vykresľuje náš laser. Teraz je potrebné vrátiť sa k regulácii svetla, respektíve k zmene nastavenia jasu. Pri procese skenovania je totižto potrebné dosiahnuť pravý opak, teda aby bol záznam čo možno najmtvavší a tak na ňom bol svetelný lúč dobre viditeľný. Následne do rohu kalibračnej plochy umiestnime predmet, ktorý sa chystáme skenovať. Po spustení skenovania zapneme laserový modul a uvedieme do činnosti pohyblivý stojan tak, aby laserový lúč postupne prešiel celou plochou snímaného predmetu zhora nadol. Pri skenovaní je možné držať laser i priamo v ruke a pohybovať s ním vo vertikálnej polohe, pri testovaní tohto postupu som však nedosiahol výsledky dobrej kvality. Rozhodol som sa preto postup doplniť o skonštruovanie spomínaného posuvného stojanu. Ten zaručuje nemenný nami nastavitelný uhol a plynulý pohyb čo zreteľne zlepšuje výsledky skenovania.



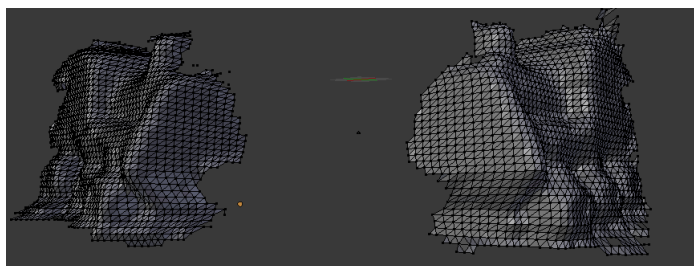
Obr. 6.7: Proces skenovania.

Pohyb lasera vo vertikálnom smere opakujeme, pokiaľ nieje celý predmet dostatočne nasnímaný. Úplnosť snímania môžeme priebežne sledovať v programe David-Laserscanner, ktorý ho zobrazuje v hĺbkovej mape, kde sú vzdialenosti jednotlivých bodov predmetu znázornené v rôznych odtieňoch farieb. Bezfarebné miesta zároveň znázorňujú doposiaľ nenásnímané miesta. Pohyb lasera teda opakujeme dovtedy, kým nebude plocha celého objektu vyjadrená vo farbe.



Obr. 6.8: Hĺbková mapa z programu David-laserscanner.

Po dostatočnom skenovaní môžeme výsledný model uložiť vo formáte `.obj`. Skúšobná verzia má však isté obmedzenie i tu. Výsledný model ukladá len v rozlíšení 320x240 pixelov. Následne môžeme model ľubovoľne upravovať v akomkoľvek programe pracujúcom s formátmi `.obj`. Ja som pri testovaní používal voľne šíriteľný program Blender. Po nainportovaní modelu s ním môžeme ďalej manipulovať. Odstránime nerovnosti a nečistoty vzniknuté pri skenovaní. V tomto programe môžeme jednotlivé modely i spájať, keďže pri jednom skenovaní nenaskenujeme predmet zo všetkých strán. Skenovanie je preto potrebné opakovať pričom pootáčame predmet.

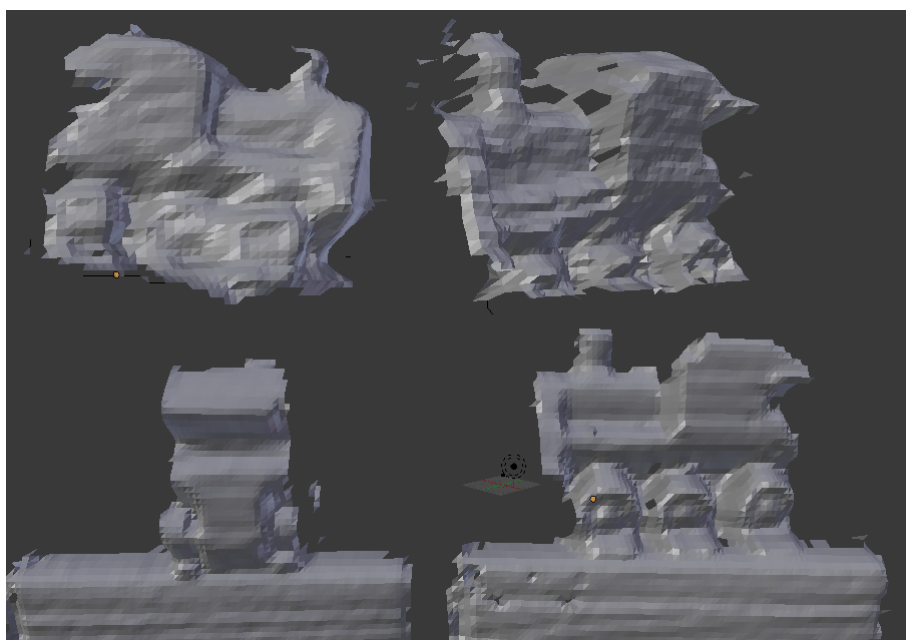


Obr. 6.9: Ukážka výsledného modelu.

6.4 Presnosť skenovania

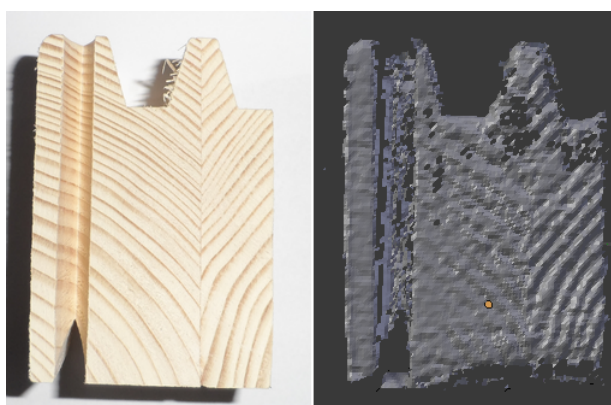
Presnosť skenovania mnou vytvoreného skenera ovplyvňuje hneď niekoľko faktorov. Prvým z nich je rozlíšenie použitej kamery. Pri skenovaní je odporúčané použiť kameru s rozlíšením aspoň 2 megapixely s kvalitnou optikou. Ďalším dôležitým faktorom je kvalitný laserový generátor s možnosťou nastavenia zaostrenia lúča. No kvalitu a presnosť skenovania najviac ovplyvňuje posledný faktor – dĺžka a plynulosť snímania objektu kamerou. Model objektu môžeme získať už i zo skenovania trvajúceho 10 sekúnd, pričom laserový generátor budeme voľne držať v ruke. Výsledok však zďaleka nebude tak presný a kvalitný ako pri použití posuvného stojanu pre laser a pri skenovaní dlhší čas. Testoval som obidve možnosti. Najskôr som vykonal krátke skenovanie, kedy som laserový modul držal voľne v ruke. Následne som vykonal i dlhé skenovanie, kedy bol laserový modul upevnený na posuvnom stojane. Vykonal som ďalšiu sériu skenovaní, záverom bolo, že ani pri dlhotrvajúcom skenovaní, kedy bol laser držaný voľne v ruke sa výsledky nerovnali kratšiemu skenovaniu s použitím posuvného stojanu.

Na obrázku 6.10 vidíme v jeho vrchnej časti model získaný zo skenovania, ktoré trvalo približne 30 sekúnd, pričom bol laserový generátor držaný voľne v ruke. V spodnej časti obrázka vidíme výsledok skenovania trvajúceho približne 40 sekúnd, kedy bol laserový generátor umiestnený v posuvnom stojane. V oboch prípadoch bol skenovaný rovnaký predmet, no ako z obrázkov vyplýva, pri prvom skenovaní je predmet zosnímaný neúplne, hrany sú nepresné a celkový model presne nezodpovedá skenovanému predmetu. Pri druhom skenovaní sme získali model s presnejšími hranami, plne vyplnenými stenami predmetu a samotný model pôsobí reálnejšie.



Obr. 6.10: Porovnanie výsledkov skenovania.

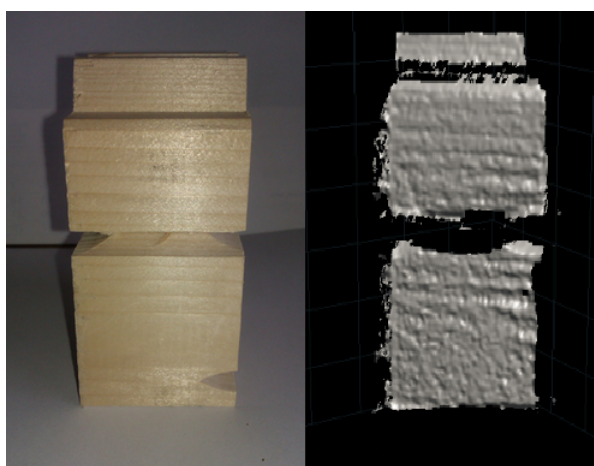
Presnosť skenovania môžeme vidieť i na druhom príklade, kedy som skenoval drevený predmet. Ako možno vidieť na výslednom modeli, skenovanie zachytilo i štruktúru dreva v podobe letokruhov, ktoré sú na modeli jasne vidieť, a to i napriak tomu, že skenovanie trvalo len približne 25 sekúnd a laserový lúč prešiel po predmete len jeden krát. Nevyplnené miesta na modeli sú spôsobené lesklou povrchovou úpravou dreveného predmetu. Tá zabraňuje dokonalému osvetleniu laserom, no i fakt, že laserový lúč prešiel po ploche objektu len raz.



Obr. 6.11: Štruktúra dreva viditeľná na modeli.

6.5 Nedostatky skenovania

Problém pri skenovaní nastáva, keď skenovaný predmet obsahuje vypukliny alebo naopak priehlbiny vyčnievajúce v horizontálnom smere. Príliš veľká členitosť povrchu teda komplikuje proces skenovania. Ak sú tieto nerovnosti väčších rozmerov, laserový lúč nedokáže osvetliť celú plochu predmetu. Tento jav môžeme vidieť na obrázku 6.12. Objekt totižto nasvecujeme zhora, lúč teda nieje schopný nasvietiť časť predmetu pod výčnelkom, ako už bolo spomenuté v kapitole 4.6. Tento problém sa dá však vyriešiť vykonaním ďalšieho skenovania, kedy bude predmet otočený o 90° tak, aby bola pri druhom skenovaní osvetlená i plocha pod výčnelkom. Tieto dva modely potom spojíme v programe určenom na prácu s objektmi a získame tak kompletný model.



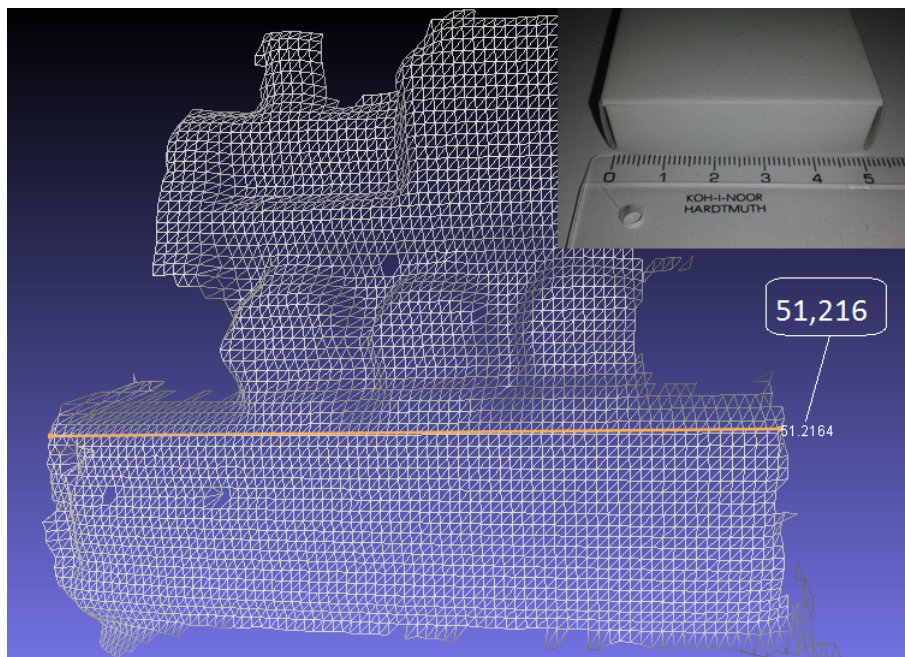
Obr. 6.12: Neúplnosť skenovania členitého povrchu.

6.6 Spracovanie výsledkov

Pre získanie kompletného modelu je potrebné previesť sériu jednotlivých skenovaní, pričom predmet vždy pootočíme po jeho X-ovej osi tak, aby sme postupne nasnímali všetky jeho strany. Po skenovaní teda získame sériu modelov jednotlivých strán predmetu. Ak by sme chceli získať model kompletný, musíme tieto modely spojiť do jedného úplného modelu.

Docielime to spojením modelov v jednom z programov pre prácu s formátmi .obj. Pre túto funkciu môžeme využiť jeden z voľne šíriteľných programov Blender alebo Mesh-Lab. Program Blender ponúka okrem iných i funkciu merania vzdialenosti medzi jednotlivými bodmi, funkciu výpočtu obsahu plôch jednotlivých trojuholníkov, či dokonca zobrazenie ulov jednotlivých hrán. Treba si však uvedomiť, že program nepozná presnú mierku modelu, ktorý doň naimportujeme. Ak by sme ale spolu s predmetom skenovali takzvaný kalibračný predmet, ktorého rozmery poznáme, mohli by sme na základe pomerov vzdialeností bodov predmetu a rozmerov predmetu vypočítať jednotlivé vzdialenosti.

Program MeshLab na rozdiel od programu Blender ponúka funkciu merania rozmerov, kedy dokáže z modelu získať rozmery zodpovedajúce skutočným rozmerom predmetu. To je samozrejme veľkou výhodou. Pri spracovávaní a úprave modelu tak môžeme pracovať so skutočnými rozmermi, nie v mierke, získať pravé informácie o vzdialenostiach jednotlivých bodov, či celkových vzdialenosti. Neponúka však funkcie zobrazenia uhlov ani obsahu plôch ako program Blender. Preto výber programu pre spracovanie modelov závisí od cielenej úpravy tohto modelu.



Obr. 6.13: Funkcia merania vzdialeností programu MeshLab.

Funkciu merania vzdialeností môžeme vidieť na obrázku 6.13, kde vidíme, že rozmery modelu podstavca zodpovedajú skutočným rozmerom podstavca v skutočnosti.

Program MeshLab ďalej ponúka i funkciu pridania textúr k modelu. Takže nielenže môžeme upravovať geometriu modelu, môžeme upravovať i jeho povrch, čo je užitočnou funkciou pri tvorbe dizajnu.

6.7 Zhodnotenie skenera

Tieto spomenuté základné funkcie a možnosti spracovania výsledkov vypovedajú o užitočnosti tohto skenera. Jeho potenciálne využitie vidím napríklad v automobilovom priemysle. Mohol by plniť úlohu skenera pre prevod modelov osobných automobilov do počítačových modelov pri návrhu nových skutočných automobilov. Inou možnosťou využitia by bol strojársky priemysel pre skenovanie modelov strojárskych súčiastok. Tu by však výsledky neboli natoľko kvalitné, keďže ako bolo spomenuté, lesklé povr-

chy predmetov znižujú kvalitu výsledného modelu. Samozrejme, pre komerčné využitie by boli potrebné kvalitnejšie prostriedky pre lepšie výsledky. Nepopierateľnou výhodou tohto skenera je určite jeho cena. Ako z výsledkov tejto práce vyplýva, je možné skonštruovať 3D skener len s použitím základných a teda nie finančne náročných prostriedkov.

7 Záver

S istotou možno tvrdiť, že 3D technológia má svoju budúcnosť. Jej všestranné využitie v zábavnom priemysle, medicíne, umení či v priemysle zaručuje, že sa bude nadálej rozvíjať. Tento rozvoj, podobne ako pri iných technológiách napreduje prakticky každodenne a len ťažko môžeme predpokladať kam bude smerovať jeho ďalší krok. Stačí vziať v úvahu akým rozvojom a zlepšením prešla táto technológia počas krátkeho obdobia od jej vzniku. Ak napríklad porovnáme prvé anaglyfické snímky, ich kvalitu obrazu, neostrý obraz, nereálne farby so súčasnými premietacími technikami, nemožno si nevšimnúť obrovské rozdiely.

Táto bakalárska práca mala za úlohu podať prehľad o súčasných spôsoboch 3D zobrazovania, ich výhod, nevýhod a využitia a taktiež ukázať spôsob, akým možno rekonštruovať predmet do 3D modelu. Nemožno totižto pozeráť na 3D technológiu len ako na prostriedok filmového priemyslu. Dokázali sme, že uplatnenie 3D technológie zasahuje do stále väčšieho počtu výrobných i nevýrobných odvetí priemyslu a zábavy a to nielen vďaka 3D skenerom. Ako môžeme vidieť na základe praktickej časti tejto bakalárskej práce, relatívne plnohodnotný 3D skener možno skonštruovať už za cenu nepresahujúcu 600Kč za predpokladu, že máme k dispozícii počítač. Skenerom, teda prostriedkom pre 3D rekonštrukciu bola venovaná takmer celá kapitola tejto bakalárskej práce a taktiež časť praktická.

Úvodná kapitola obsahovala vysvetlenie priestorového vnímania, čo bolo potrebné pre pochopenie, ako ľudské oči vnímajú priestor a ako je možné toto vnímanie získať umelo. V ďalšej kapitole som sa zamerail na jednotlivé spôsoby 3D zobrazovania spolu s ich výhodami i nedostatkami. Nasledujúce kapitoly už podali prehľad o spôsoboch rekonštrukcie 3D scény. Boli tu popísané prostriedky na dosiahnutie tejto rekonštrukcie, pričom hlavná pozornosť bola venovaná práve 3D skenerom ich rozdeleniu využitiu ale i samotnému testovaniu v praktickej časti.

Len ťažko môžeme teraz odhadnúť, či 3D zobrazovanie úplne nahradí klasické 2D systémy. So samozrejmosťou však možno povedať, že rozvoj 3D technológie bude ďalej napredovať a rozširovať sa, ako je tomu v súčasnosti.

8 Literatúra

- [1] BITTERER. L. *Základy fotogrametrie*. 3. vydanie. [online]. cit[2005]. Dostupné na <http://svf.utc.sk/kgd/f>.
- [2] AUTRATA. R., ČERNÁ. J. *Náuka o zraku*. 1. vydanie. Brno 2006. 226s. ISBN 80-7013-362-7
- [3] *Anaglyphs for computer stereoscopy*. [online]. [cit. 2010-20-10]. Dostupné na <http://nzphoto.tripod.com/sterea/anaglyphs.htm>.
- [4] *Gali 3D*. [online]. [cit. 2010-03-11]. Dostupné na <http://www.gali-3d.com/cz/techno-passive-stereo/techno-passive-stereo.php>.
- [5] *3D TV Technology*. [online]. [cit. 2010-19-11]. Dostupné na <http://www.3dtelevision.org.uk/polarization>.
- [6] HOWARD. I. P., ROGERS. B. J. *Binocular Vision and Stereopsis*. New York: Oxford University Press, INC. 1995. ISBN 0-19-508476-4.
- [7] *Stereoskop: Osvedčená pedagogická skúsenosť edukačnej praxe*. [online]. [cit. 2011]. Dostupné na <http://shared.mpc-edu.sk>.
- [8] *3D- historik*. [online]. [cit. 2010-10-02]. Dostupné na <http://www.produkter.nu/ystad/3D-historik.htm>.
- [9] *3D journal*. [online]. [cit. 2010-03-11]. Dostupné na <http://www.3djournall.com/002/artic46.php>.
- [10] *Chromostereoscopy.com*. [online]. [cit. 2010-20-01]. Dostupné na <http://www.stereoscopy.com/faq/vectographs.html>.
- [11] *3D DeltaVision*. [online]. [cit. 2010-10-12]. Dostupné na http://www.3ddeltavision.pl/s,efekt_pulfricha,94.html.
- [12] *Blelb The visual perception*. [online]. [cit. 2010-19-12]. Dostupné na http://www.blelb.com/english/blelbspots/spot16/exspot16_en.htm.
- [13] KALOVÁ. I., HORÁK. K. *Optické metody měření 3D objektu*. [online]. [cit. 2008-04-26]. Dostupné na <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html#kap2.1.1>.
- [14] TIŠNOVSKÝ. P. *Bezkontaktní digitalizace předmětu pomocí 3D scanneru Minolta Vivid VI-700: 2. Metody bezkontaktní digitalizace povrchu reálných předmět*. [online]. [cit. 2008-04-26]. Dostupné na http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm.
- [15] TON. O. *Orientace v prostředí - podrobnější specifikace*. [online]. [cit. 2008-04-26]. Dostupné na <http://dce.felk.cvut.cz/prezentace/orientace%20podr.pdf>.

-
- [16] *Teodolity*. Dostupné na http://www.sgs.edu.sk/HTML/geodezia1_6.htm.
- [17] ŠTRONER. Martin, POSPÍŠIL. Jiří. *Terestické skenovací systémy*. Praha:České vysoké učení technické. 2008. ISBN 978-80-01-04141-3.
- [18] IULIANO. L., MINOLETA. P. *Rapid Manufacturing of sculptures replicas: A comparasion between 3D optical scanners*. [online]. [cit. 2008-04-27]. Dostupné na <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/Torino2005/384.pdf>.
- [19] ŠIMONÍK. M. *Digitalizace - její princip a rozdělení*. [online]. [cit. 2008-04-21]. Dostupné na <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni>.
- [20] NAVRÁTIL. R. *3D skenery*. [online]. [cit. 2008-04-21]. Dostupné na <http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/index.html>.
- [21] DÚBRAVCÍK. M. *Prostriedky digitalizácie*. [online]. [cit. 2008-04-21]. Dostupné na <http://64.233.183.104/search?q=cache:976LgTwdbAIJ:web.tuke.sk/sjficav/stranky/transfer/8-2005/pdf/52-54.pdf+prostriedky+digitaliz%C3%A1cie&hl=cs&ct=clnk&cd=1&gl=sk>.
- [22] *Teodolit TDJ 6E, optický*. [online]. Dostupné na <http://gpprague.cz/eshop/teodolit-tdj-6e-opticky-p-424.html>.
- [23] *CGI: Cross-Sectional Scaning*. [online]. [cit. 2008-04-22]. Dostupné z http://www.cgiinspection.com/css_process.cfm.
- [24] KORUS. M. *3D skenery*. [online]. [cit. 2008-05-04]. Dostupné na <http://www.markonet.cz/pages/vyuka/principy-pocitacu/3d-skenery.php?searchresult=1&sstring=3D+skener>.

9 Obsah priloženého CD

Obsah priloženého CD

1. Text bakalárskej práce vo formáte PDF, súbor:
Bakalarska_praca.pdf
2. Bakalárska práca vo formáte LaTeX, zložka:
Bakalarska_praca_LaTeX
3. Inštalačné súbory programov Blender v2.66, Meshlab v132, zložka:
Instalacne_subory
4. Ukážky 3D modelov vo formáte .obj, zložka:
Ukazky_modelov
5. Ukážky projektov vo formáte .blend, zložka:
Ukazky_blender

Príloha A:

Ukážky naskenovaných modelov spolu s ich skutočnou podobou

